Morocco WPM Watershed Protection and Management
Task Order No. 814 under the BIOFOR IQC

Contract No. LAG-I-00-99-00014-00

EVALUATION DU TAUX D'EROSION AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DE DOUTAMA PAR LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)

Evaluation of soil erosion rates in the Dou Tama watershed using a Geographical Information System (GIS)

Submitted to:
U.S. Agency for International Development
Submitted by:
Chemonics International Inc.

April 2003

This publication was made possible through support provided by the U.S. Agency for International Development, under the terms of Award No. LAG-I-00-99-00014-00. The opinions expressed herein are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the U.S. Agency for International Development.

PROJET WPM

EVALUATION DU TAUX D'EROSION AU NIVEAU DU BASSIN VERSANT DE DOUTAMA PAR LE SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE (SIG)

Par
Mahamed Khatouri

Avril 2003

SOMMAIRE

SECTION I	Introduction ……	1
SECTION II	Caractéristiques générales du bassin versant de Doutama……	2
SECTION III	Evaluation du taux d'érosion à partir des données sur l'envasement du barrage Abdelmoumen……..	4
SECTION IV	Evaluation du taux d'érosion par le SIG……..	5
	A. Indice de pluie (R) ……..	6
	B. Indice d'érodibilité des sols (K) ……..	7
	C. Indice de topographie (LS) ……	11
	D. Indice des pratiques culturales (C)……	13
	E. Indice des pratiques de conservation (P) ……..	15
	F. Taux d'érosion avant la mise en ouvre des activités du projet ……..	17
ANNEXES	…… ……..	19

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de situation du bassin versant de Doutama ……. 2
Figure 2. Schéma général de l'évaluation de l'érosion par le SIG …….. 6
Figure 3. Carte pédologique ……. 10
Figure 4. Carte de l'indice d'érodibilité des sols (K) ……. 10
Figure 5. Carte du modèle numérique d'altitude (TIN) ……. 12
Figure 6. Carte de l'indice topographique (LS) ……. 13
Figure 7. Carte d'occupation des sols ……. 14
Figure 8. Carte de l'indice des pratiques culturales (C) …….. 15
Figure 9. Carte de l'indice des pratiques de conservation des sols (P) ……. 17
Figure 10. Carte du taux d'érosion avant la mise en œuvre des activités du projet……. 18

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Estimation du taux d'érosion à partir des mesures d'envasement du barrage …… 6
Tableau 2. Précipitations moyennes mensuelles au niveau du barrage Abdelmoumen… 8
Tableau 3. Calcul de l'indice de pluie (R) …… …….. 8
Tableau 4. Calcul de l'indice d'érodibilité du sol (K) …… …….. 9
Tableau 5. Valeurs moyennes de l'indice C des parcelles d'Argana …… …….. 14
Tableau 6. Valeurs estimées de l'indice C …… …….. 15
Tableau 7. Valeurs estimées de l'indice P …… …….. 16
Tableau 7. Répartition de la superficie du bassin versant par classes d'érosion …… 18

SECTION I INTRODUCTION

Le projet « Watershed Protection and Management » (WPM) a pour objectif principal la mise en place d'un programme intégré de gestion et de protection des ressources naturelles dans le bassin versant de Doutama dans la région d'Agadir. Il fait suite au programme réussi de lutte contre l'érosion dans le bassin versant du Nakhla mis en œuvre dans le cadre du projet PREM (1996-2001) en collaboration très étroite avec la population locale et les partenaires gouvernementaux et non gouvernementaux. Le programme d'activités du projet WPM dans le bassin versant de Doutama inclue des interventions directes telles que les plantations d'arbres forestiers et fruitiers et la fixation des ravins et des interventions indirectes telles que la réhabilitation des canaux d'irrigation pour la conservation de l'eau, l'introduction des fours améliorés pour la réduction de la consommation de bois et l'introduction de l'apiculture pour l'amélioration des revenus des agriculteurs.

Ce rapport détaille l'approche suivie dans l'évaluation de l'état initial de l'érosion dans le basin versant de Doutama en utilisant le Système d'Information Géographique (SIG). Il représente la première étape dans l'intégration dans le SIG des activités du projet qui ont un caractère spatial afin de faciliter leur suivi et analyse ainsi que la présentation des résultats et impacts du projet.

Cette évaluation est nécessaire afin d'établir une carte de référence du taux d'érosion avant l'installation des activités de lutte contre l'érosion dans le bassin versant. Une fois les activités à mettre en ouvre sont bien délimitées dans l'espace, on pourra facilement les intégrer dans le SIG pour évaluer leur impact sur la réduction de l'érosion dans le bassin versant et par conséquent la réduction du taux d'envasement du barrage Abdelmoumen et l'augmentation des potentialités de mobilisation des eaux dans la région du Souss-Massa.

SECTION II CARACTERISTIQUES GENERALES DU BASSIN VERSANT DE DOUTAMA

Le bassin versant de Doutama est localisés au Haut Atlas entre les coordonnées géographiques 30°42' et 30°48’ de latitude Nord et 9°10' et 9°18’ de longitude Ouest à environ 70 Km au Nord de la ville d’Agadir sur la route nationale de Marrakech (Figure 1). Il constitue un sous bassin représentatif des conditions de l’érosion dans le grand bassin versant d’Issen situé à l’amant du barrage Abdelmoumen.

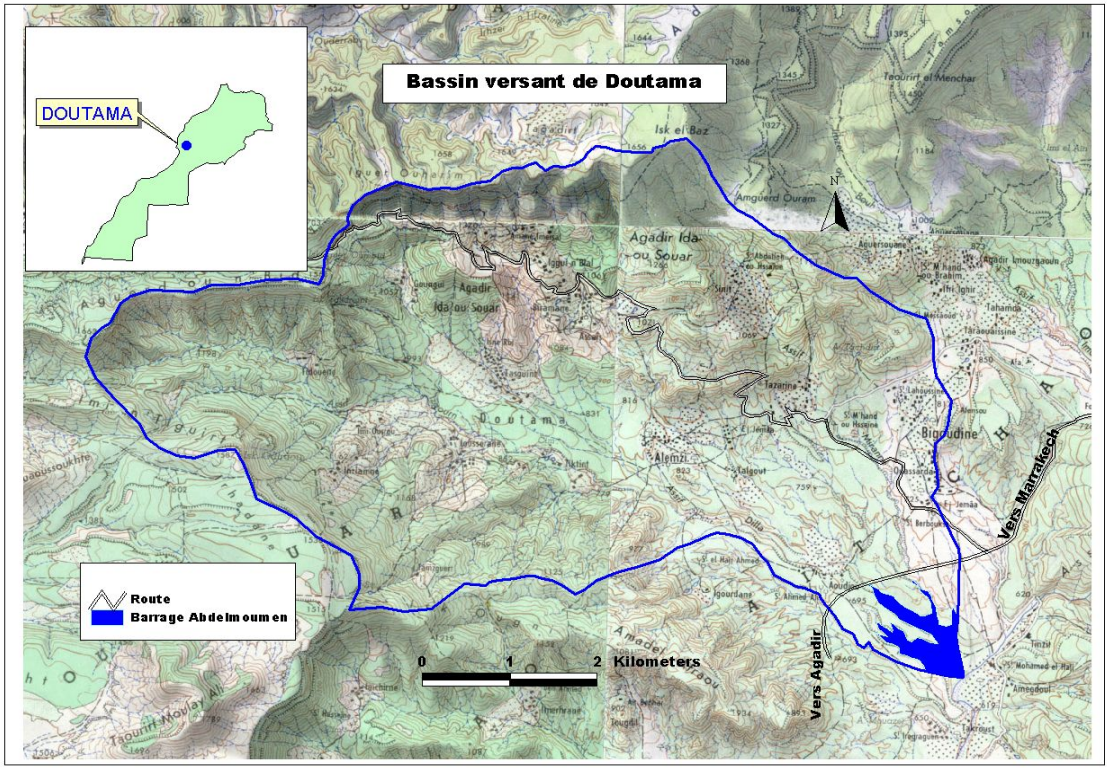

Figure 1. Carte de situation du bassin versant de Doutama

La population totale du bassin versant est de quelques 3000 habitants dont la majorité est incluse dans la zone administrative de la Commune Rurale de Tikki, Province Ida Outanane. Quelques villages situés à l’Est du bassin versant font partie de la Commune Rurale d’Argana, Province de Taroudant.

La superficie totale du bassin versant de Doutama est d’environ 37 km^2 (3700 hectares), soit environ 3 % de la superficie totale du bassin versant d’Issen. Il est drainé par trois principaux affluents de Oued Issen avec une densité totale du réseau hydrographique de l’ordre de 4.5 Km/Km^2.

Le barrage Abdelmoumen a été mis en service en 1981 avec une capacité de 213 millions de m3. L'eau stockée dans le barrage sert à la fois à l'irrigation des cultures du périmètre d'Issen et à l'alimentation en eau potable de la ville d'Agadir.

L'altitude varie de 620 m à l'exutoire du barrage jusqu'à environ 1650m sur les crêtes calcaires au Nord caractérisées par des falaises avec de fortes pentes. La pluviométrie présente par une grande variabilité inter et intra-annuelle. La moyenne annuelle au niveau de la station pluviométrique du barrage Abdelmoumen est de l'ordre de 282 mm.

La géologie du bassin versant comporte principalement les formations du Jurassique et du Permo-Trias, avec la présence de terrasses quaternaires issues des alluvionnements et colluvionnements de ces dernières. Les sols sont dominés par des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, et des sols d'apports alluvio-colluviaux à dominance d'argiles rouges et de basaltes doléritiques.

Les ressources en eau dans la zone sont très limitées. Les sources d'eau existantes sont caractérisées par des débits très irréguliers qui dépend étroitement du régime pluviométrique.

Le bassin versant est en majorité couvert par une forêt dégradée soumise au régime forestier et qui est principalement utilisée par les habitants pour le pâturage et le bois de feu et de chauffage. Au niveau des altitudes supérieures (800 – 1600 m), on trouve principalement une forêt moyennement dense de thuya, d'oléastre, et d'une strate arbustive à base de lentisque. A basse altitudes (650m – 800 m), on trouve une forêt d'arganeraie moyennement dense à claire. Les amandes d'arganier sont récoltées pour l'extraction de l'huile d'argan qui est une source de revenu importante pour la population locale.

L'agriculture est dominée par les culture en sec à dominance d'orge cultivé généralement sous le couvert claire de la forêt d'arganier et les cultures en irrigué sur les terrasses qui sont limitrophes des habitations. Les cultures pratiquées sur les terrasses irriguées incluent l'orge et les cultures maraîchères telle que la pomme de terre, l'oignon, les navets, et les carottes.

Le pâturage excessif, le déboisement du couvert végétal naturel, et l'utilisation des pratiques agricoles non viables engendrent un processus d'érosion accéléré des sols et menacent la durabilité de la gestion des ressources naturelles de la région.

SECTION III EVALUATION DU TAUX D'EROSION A PARTIR DES DONNEES SUR L'ENVASEMENT DU BARRAGE ABDELMOUMEN

Une première évaluation du taux moyen d'érosion à l'échelle du bassin a été réalisée à partir des mesures de contrôle bathymétriques du barrage Abdelmoumen recueillies par la Direction Régionale de l'Hydraulique (DRH) dont la démarche a été présentée dans le rapport de Mr. Tayaa (2003) . Le résultat de cette estimation est présenté dans le tableau 1

Tableau 1. Estimation du taux d'érosion à partir des mesures d'envasement du barrage

Période de mesure	Volume mesuré à la cote 637m (En millions m3)	Volume d'envasement (En millions m3)	Volume d'envasement annuel moyen		Taux d'érosion calculé (En T/ha/an)	Taux d'érosion corrigé (En T/ha/an)
			(En Millions m3/an)	(En Millions T/an)		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1981	126.957					
1981-87	124.064	2.893	0.482	0.675	5.193	7.270
1987-98	110.272	13.792	1.254	1.755	13.503	18.904
Total		**16.685**	**0.981**			
Moyenne				**1.374**	**10.570**	**14.798**

(2) : Différence entre les volumes de stockage mesurés à la cote 637m à la fin et au début de la période de mesure
(3) : Volume d'envasement/nombre d'année dans la période de mesure
(4) : (3) * 1.4 (densité spécifique)
(5) : (4) / (Superficie du bassin versant d'Issen = 130 000 ha)
(6): Taux d'érosion (5) majoré de 40%.

Deux campagnes de contrôle bathymétrique on été réalisées par la DRH en 1987 et 1989. L'envasement total du barrage pour la période 1981-98 est de 16.685 millions de m3 ou 7.8 % de sa capacité initiale (213 millions de m3).

Le taux d'érosion calculé à partir du taux d'envasement du barrage varie entre 5.193 T/ha/an pour la période 1981-87 et 13.503 T/ha/an pour la période de 1987-1998, avec une moyenne calculée sur 17 ans (1981-1989) de 10.570 T/ha/an.

Pour approcher la valeur réelle du taux d'érosion au niveau du bassin versant, il faut ajouter au volume d'envasement mesuré le pourcentage de sédiments en suspension évacués au moment des vidanges de fond du barrage qui est estimé à 40% (Tayaa 2003). La majoration du taux d'érosion calculé par 40 % donne un taux d'érosion moyen à l'échelle de tout le bassin versant d'Issen de 15.194 t/ha/an.

SECTION IV EVALUATION DU TAUX D'EROSION PAR LE SIG

L'équation universelle de Wischmeier est l'équation la plus utilisée pour l'estimation du taux d'érosion du sol. Elle s'appuie sur le produit de cinq paramètres (ou indices) comme suivant:

$$E = R \times K \times LS \times C \times P \qquad (1)$$

Avec E = Taux d'érosion en T/ha/an
R = Indice de pluie caractérisant l'agressivité climatique
K = Indice d'érodibilité du sol
LS = Indice topographique combinant l'effet de la longueur et l'inclinaison de la pente
C = Indice des pratiques culturales
P = Indice des pratiques de conservation

Les cinq indices de l'équation (1) ont un caractère spatial et par conséquent varient en fonction des caractéristiques physiques, d'occupation des sols, et des pratiques de conservation au niveau de chaque unité spatiale du bassin versant.

Le SIG s'apprête bien à l'évaluation de l'équation (1) et par conséquent à la cartographie du taux d'érosion à l'échelle du bassin versant. Chaque paramètre est représenté dans le SIG par une couverture ou grille (grid ou raster) représentant les valeurs estimées au niveau de chaque élément de surface du bassin versant. Nous avons utilisé le module Spatial Analyst d'ArcView GIS pour développer les différentes grilles d'estimation des paramètres de l'équation (1). Nous avons utilisé l'unité de surface de 30 m x 30m (dimension du pixel) comme unité de base de l'estimation de chaque paramètre. La superposition des différentes grilles de données dans le SIG nous donne la valeur du taux d'érosion au niveau de chaque unité de surface (Figure 2).

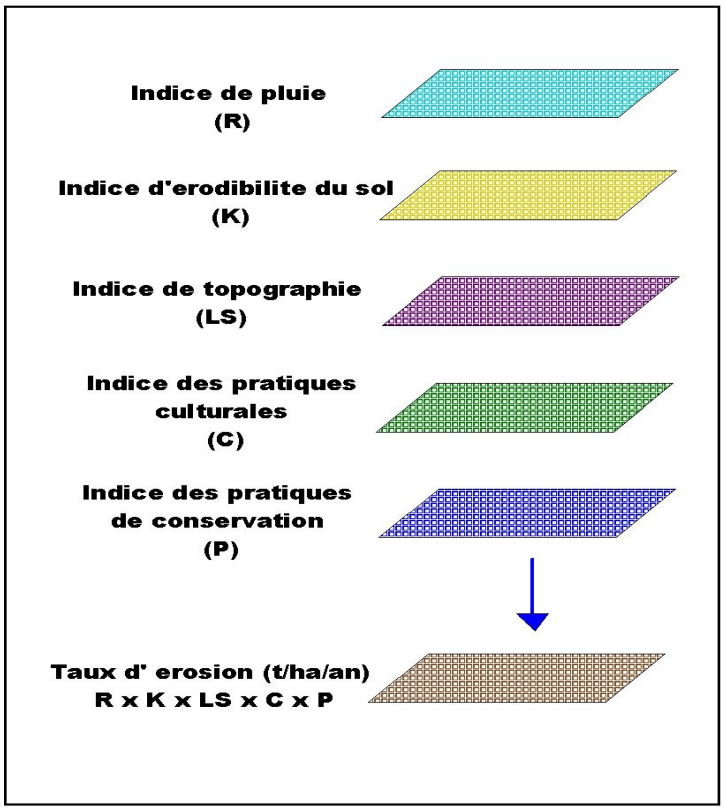

Figure 2. Equation de Wischmeier pour l'évaluation du taux d'érosion

La méthode d'évaluation des paramètres de l'équation (1) au niveau du bassin versant de Doutama est présentée dans les paragraphes suivants.

A. Indice de pluie (R)

L'indice d'érosivité de pluie (R) est le produit de l'énergie cinétique de la pluie par l'intensité horaire maximale de celle-ci en 30 minutes :

$$R = E_t \times I_{30} / 1735 \qquad (2)$$

Avec : R : Indice d'agressivité
I_{30} : Intensité horaire maximum en 30 min. (mm/hr)
E_t : Energie cinétique totale (en joule/m2)

Les données pour l'ensemble des épisodes pluvieux au cours d'une année et pour plusieurs années sont indispensables pour le calcul de la valeur moyenne du facteur R de l'équation (2). Vue la non disponibilité de ces données, Mr. Tayaa (2003) a utilisé l'équation d'Arnoldus (3) pour l'estimation de l'indice R à partir des précipitations mensuelles et annuelles moyennes.

$$Log(R) = 1.744 \times Log\left(\sum_{1}^{12} p^2{}_i / P\right) + 1.299 \qquad (3)$$

Avec

R : Coefficient d'érosivité moyenne de pluie (ft-tons-in/acre-hr)
(Pour la conversion en unités du système international (MJmm10^{-}/ha, hr,an) , la valeur de R obtenue est multipliée par 17.02)
p_i : Précipitations moyennes mensuelles (in)
P : Précipitations moyennes annuelles (in)

La station climatique la plus proche du bassin versant de Doutama et celle localisée au niveau du barrage Abdelmoumen. Les précipitations moyennes mensuelles calculées sur une période de 20 ans (1981-2001) sont présentées dans le Tableau2. La moyenne des précipitations annuelles est de 386.6 mm.

Le Tableau 3 présente le calcul du facteur R pour chaque année depuis 1995. La valeur moyenne durant cette période est de 204.59. Cette valeur a été affectée à chaque unité de la grille représentant le facteur R au niveau du bassin versant de Doutama.

Tableau2. Précipitations moyennes mensuelles au niveau du barrage Abdelmoumen. Période 1981-2001

Mois	**Moyenne**	**% de la moyenne annuelle**
Septembre	2.7	1
Octobre	27.3	7
Novembre	61.1	16
Décembre	99.6	26
Janvier	59.9	15
Février	57.8	15
Mars	53.4	14
Avril	13.9	4
Mai	7.7	2
Juin	1.3	0
Juillet	1.5	0
Août	0.5	0
Moyenne annuelle	**386.6**	100

Tableau 3. Calcul de l'indice de pluie (R)

Année	Précipitations moyenne (pouces)	Indice R	
		Unités : pouces (Equation 3)	Unités : métriques*
1995-96	41.00	17.78	302.67
1996-97	21.30	16.57	282.01
1997-98	17.90	12.40	210.98
1998-99	5.13	4.52	76.90
1999-00	9.65	8.63	146.88
2000-01	6.61	12.22	208.08
Moyenne 1995-01	16.93	12.02	**204.59**

* R de l'équation (3) multiplier par 17.02

B. Indice d'érodibilité des sols (K)

L'indice d'érodibilité des sols (K) est calculé à partir des caractéristiques physiques, chimiques et granulométriques des types sols en utilisant l'équation suivante :

$$K = [0.00021 \times (12 - MO\%) \times (M^{1.14}) + 3.25 \times (S-2) + 2.5 \times (P - 3)]/100 \quad (4)$$

Avec K : Erodibilité
MO : Matière organique en %
S : Classe de structure du sol

P : Classe de perméabilité
M : (% sable fin + % limon) x (100 - % argile).

Les valeurs de K pour chaque unité du sol ont été estimées par Mr Tayaa (2003) en utilisant les données de la carte pédologique (Figure 3) développée par Mr Bouabid (2003). Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4. Calcul de l'indice d'érodibilité du sol au niveau de bassin versant de Doutama

Unité	Sables + limons (%)	Argile (%)	MO (%)	S	P	K	K Int*
C1	56.40	33.80	3.10	2	3	0.221	0.029
C2	34.75	22.90	2.38	3	3	0.196	0.026
C3	56.40	33.80	3.10	2	3	0.221	0.029
U2	56.60	37.30	1.60	1	3	0.211	0.028
U3	12.35	15.95	0.20	4	3	0.133	0.018
U4	10.60	7.00	0.27	3	3	0.096	0.013
U5	25.50	14.05	0.85	3	3	0.183	0.024
U7	38.43	17.03	0.83	3	3	0.264	0.035
U8	29.25	22.25	1.25	4	3	0.216	0.029
U9	36.05	16.40	1.15	4	3	0.276	0.036
* K en valeur métrique = K/7.59							

Le facteur d'érodibilité du sol au niveau du bassin versant de Doutama varie de 0.096 pour l'unité pédologique U4 à 0.276 pour l'unité pédologique U9.

Nous avons ajouté aux attributs de la carte pédologique la valeur de K pour chaque classes de sol. Une grille de valeurs de K au niveau du bassin versant de Doutama a été ensuite développée dans ArcView GIS (Figure 4).

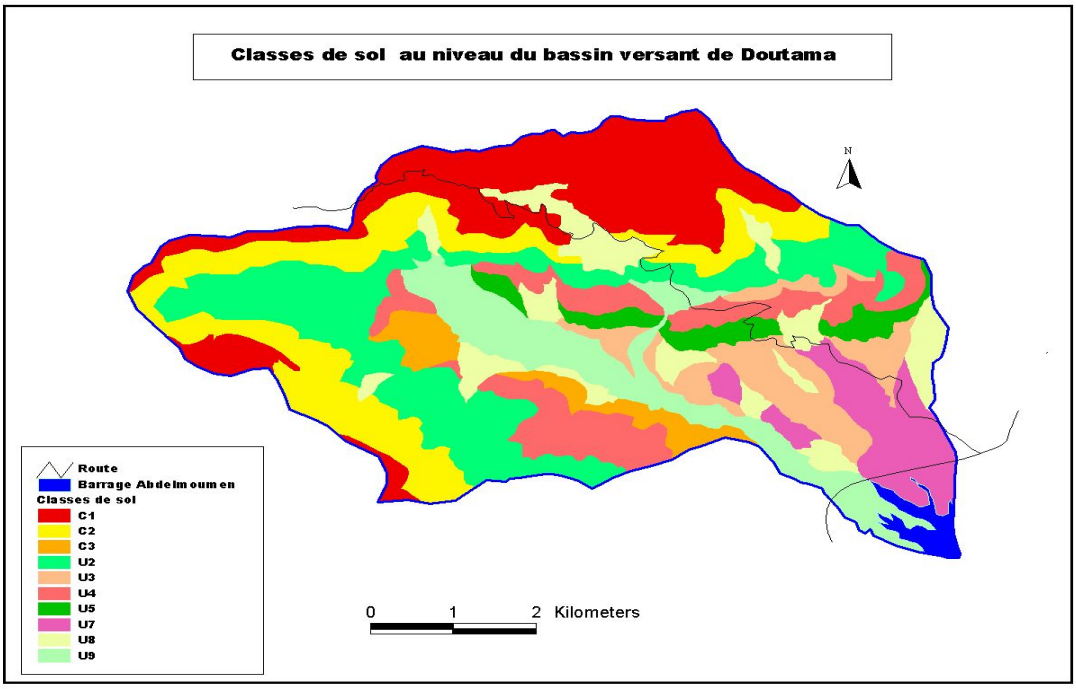

Figure 3. Carte des classes de sol au niveau du bassin versant de Doutama

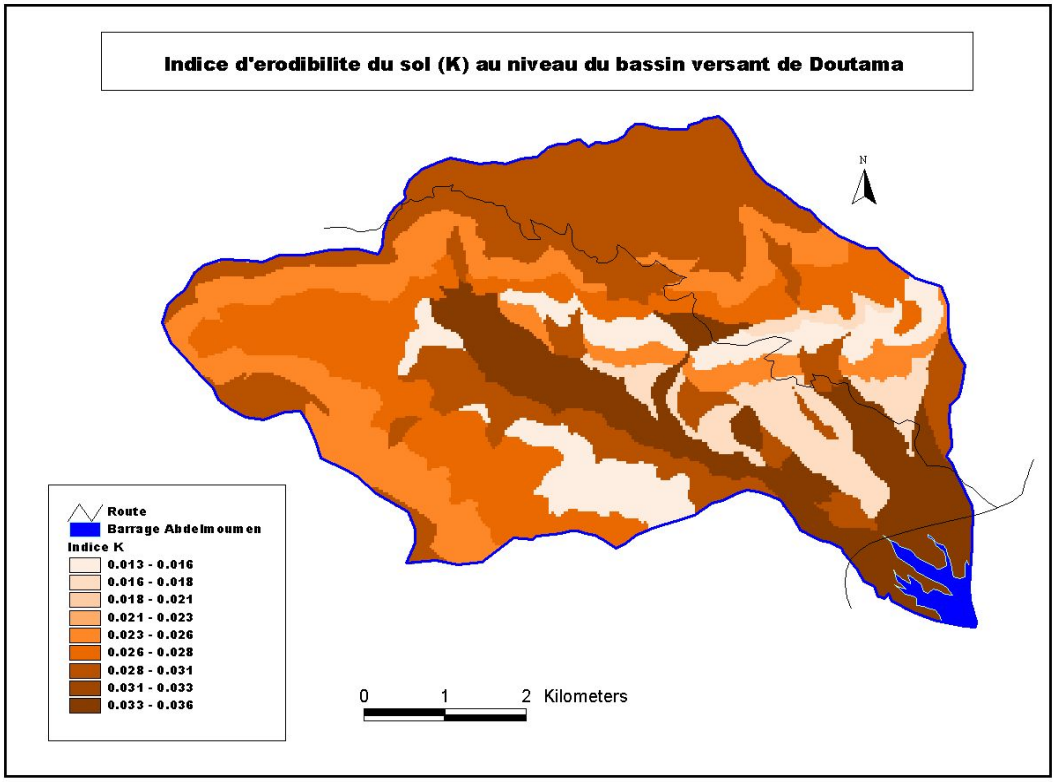

Figure 4. Carte de l'indice d'érodibilité des sols (K)

C. Indice de pente (LS)

Cet indice mesure la combinaison de la longueur de la pente (L) et l'inclinaison de la pente (S). La longueur de la pente mesure la distance entre la limite supérieure de la parcelle de terrain et le point où l'eau de ruissellement commence à se concentrer au niveau d'un élément du réseau hydrographique.

L'indice LS peut être déterminé soit à partir des abaques établis par Wischmeier ou à partir de formules empiriques de calcul de LS au niveau des parcelles agricoles. Plusieurs auteurs on introduit des modifications aux formules empiriques de calcul de LS pour l'adapter aux conditions de terrains en montagne avec une topographie complexe (Mitasova et al. 1996). La longueur de la pente est remplacée par l'estimation de la surface de contribution à l'amont, facile à calculer dans le SIG, comme suivant (Mitasova 1999) :

$$LS = (m+1)\,[A / a_0]^m \; [SIN(S) / s_0]^n \qquad (5)$$

Avec A = surface de contribution en amont de la pente
S = pente en degrés
a_0 (= 22.1m) et s_0 (= 9% ou 5.16^o) représentent respectivement la longueur et la pente de la parcelle standard du modèle empirique.

m et n = paramètres . Pour des longueurs de pente < 100 m les valeurs de m= 0.6 et n= 1.3 donnent généralement des résultats consistants avec la formule empirique modifiée.

La carte topographique au 1/50.000 a servi comme base pour développer les différentes cartes nécessaires au calcul des paramètres de l'équation (5).

Les courbes de niveau (altitudes) ont été d'abord digitalisées sur écran à partir des cartes topographiques scannées et géo-référenciées . Un modèle numérique d'altitude a été ensuite développé en utilisant l'extension TIN d'ArcView (Figure 5). Ce modèle d'altitude a été transformé facilement dans ArcView Spatial Analyst en une grille d'altitudes qui nous a servi au calcul des pentes et de surfaces de contribution. Un programme (script) d'Avenue a été développé pour faciliter le calcul du facteur LS en utilisant l'équation (5) (voir Annexe A).

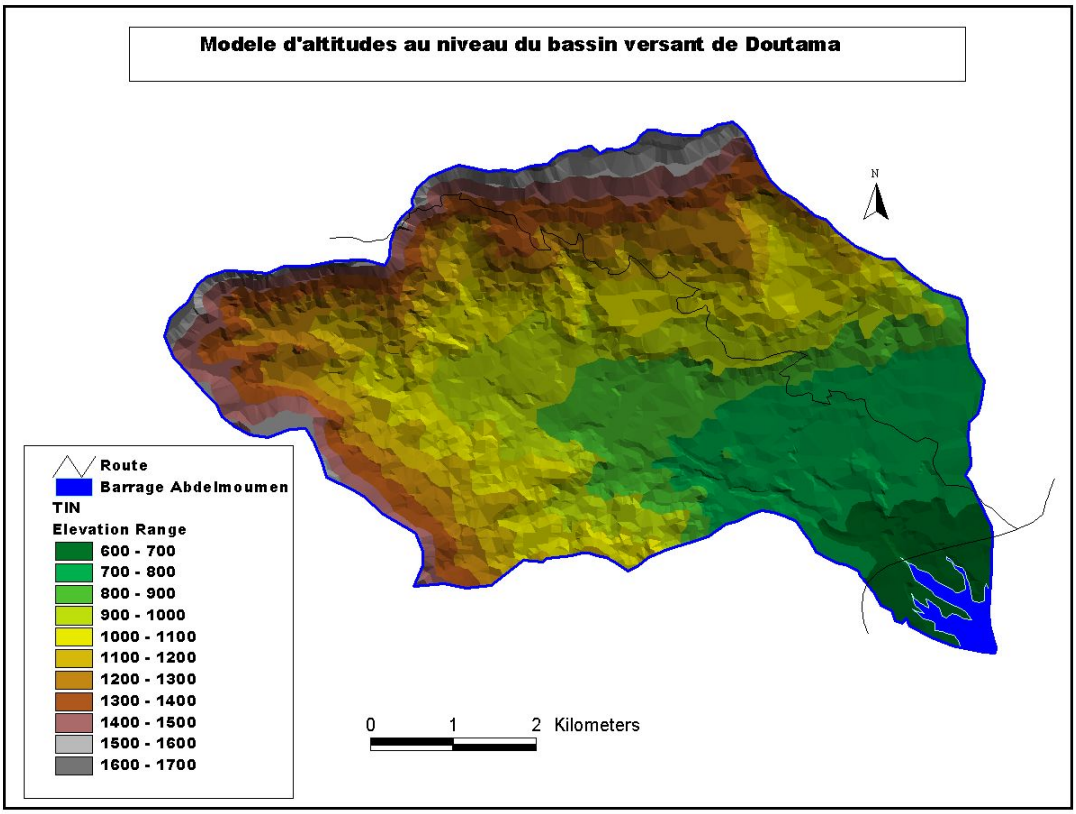

Figure 5. Carte du modèle d'altitude (TIN)

Le taux d'érosion calculé par l'équation de Wischmeier englobe uniquement l'érosion en nappe et ne s'applique pas à l'estimation de l'érosion au niveau des ravins. Lors du développement de le la grille de surface de contribution (A) en amont de la pente, nous avons constaté que les ravins et rivières commencent à s'individualiser à partir de la valeur de A supérieur à 30. Nous avons ainsi éliminé du calcul toutes les unités de terrain qui représentent les zones de ravins et rivières ($A > 30$).

Nous avons aussi constaté aussi que l'équation (5) génère des valeurs de LS très élevées dans les zones du bassin versant qui représentent un terrain accidenté avec des pentes fortes. Dans l'algorithme de l'estimation, nous avons ainsi fixé la valeur maximum du facteur LS à 100.

La figure 6 présente la carte de l'indice LS généré dans le SIG en utilisant l'équation (5).

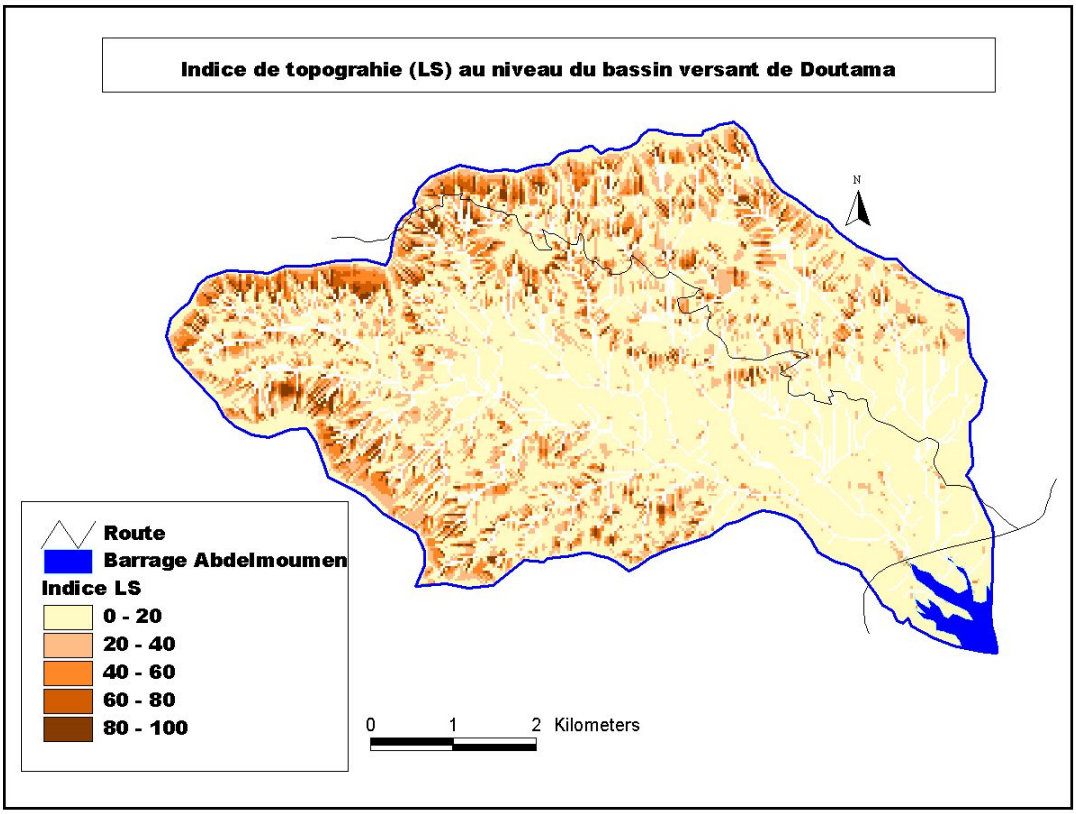

Figure 6. Carte de l'indice topographique (LS)

D. Indice des pratiques culturales (C)

L'indice C exprime l'effet des pratiques culturales et de l'utilisation du sol sur le taux d'érosion. Plusieurs facteurs entrent en jeu pour l'estimation de cet indice, tels que l'impact du précèdent cultural, la couvert de la canopée, la couverture de surface, la rugosité de surface, et l'humidité de sol. L'estimation de ces facteurs nécessite la collecte de données sur l'érosion du sol à partir des parcelles de recherche et de suivi du taux de l'érosion mises en place dans les différents types d'utilisation du sol rencontrés dans le bassin versant.

Les plantations d'arbres fruitiers dans les parcelles agricoles et les plantations d'arbres forestiers dans le domaine forestier sont toutes des pratiques culturales qui ont un effet direct sur la réduction de l'érosion et par conséquent sur la valeur de l'indice C.

Mr. Tayaa (2003) a reporté les résultats de suivi des deux parcelles d'Argana, installées dans le bassin versant d'Issen à 2 kilomètres du barrage Abdelmoune pour estimer l'indice C pour certaines occupation des sols (Tableau 5). Ces parcelles font parti d'un réseau de 80 parcelles de suivi de l'érosion installées en 1996 à travers tout le Maroc dans le cadre d'un projet national de l'aménagement des bassins versant du Département des Eaux et Forêts (MOR 93/010).

Tableau 5. Valeurs moyenne de l'indice C des parcelles d'Argana

Parcelle	Occupation	Pratique anti-érosive	C moyen
A2	Végétation naturelle	Aucune (Témoin)	0.023
A3	Céréales (Orge)	Labour perpendiculaire à la pente	0.175

Les classes d'utilisation des sols rencontrées au niveau du bassin de Doutama sont présentées dans la carte d'occupation des sols (Figure 7) qui a été développé par Mr Bouabid (2002) dans le cadre du projet WPM. Cette carte a été utilisée comme base pour le développement de la carte de l'indice C.

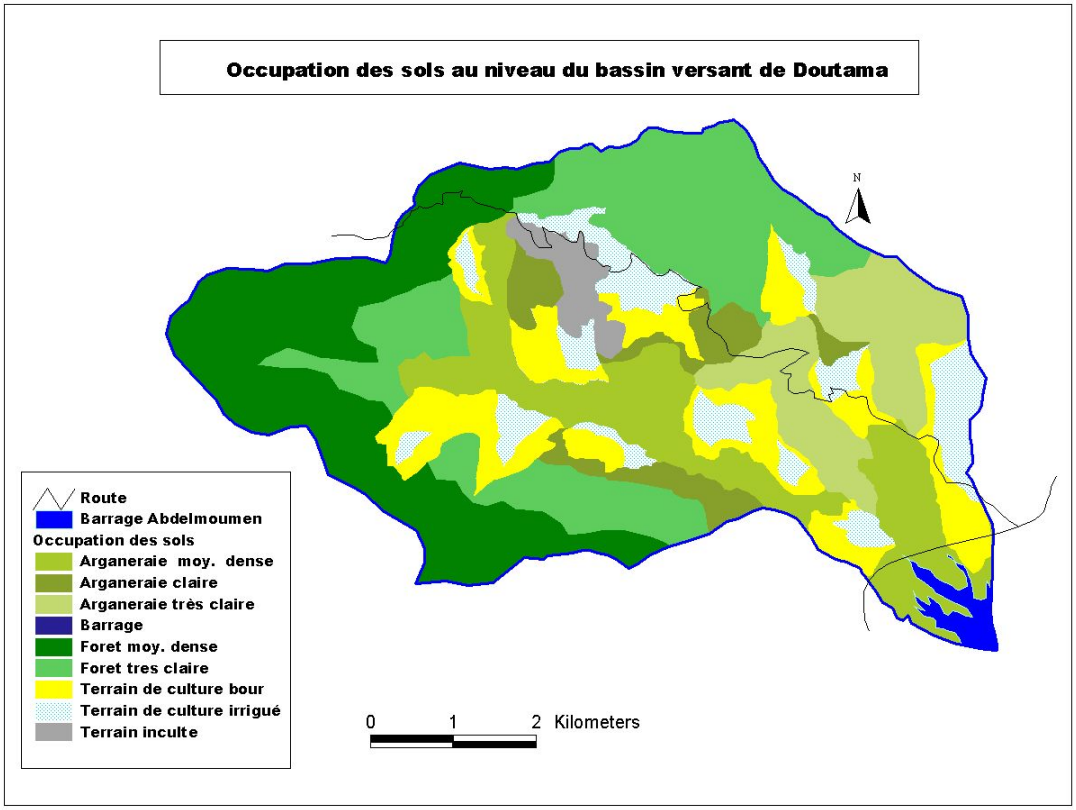

Figure 7. Carte d'occupation des sols

Mr. Tayaa (2003) a introduit une estimation de la valeur de C pour chaque classe d'utilisation des sols soit à partir du suivi effectué par le projet MOR93/010 ou à partir des documents relatifs à l'utilisation de l'équation de Wischmeier dans des conditions semblables (Tableau 6).

Tableau 6. Valeurs estimées du facteur C

Classes d'utilisation du sol	**Indice C**
Forêt de thuya moyennement dense	0.023
Forêt de thuya claire	0.180
Forêt d'arganier moyennement dense	0.023
Forêt d'arganier claire	0.180
Culture en sec	0.600
Culture en irriguées	0.900

L'attribution de la valeur de C à chaque classe d'utilisation du sol a permis de générer une grille de valeur de C au niveau du bassin versant de Doutama (Figure 8).

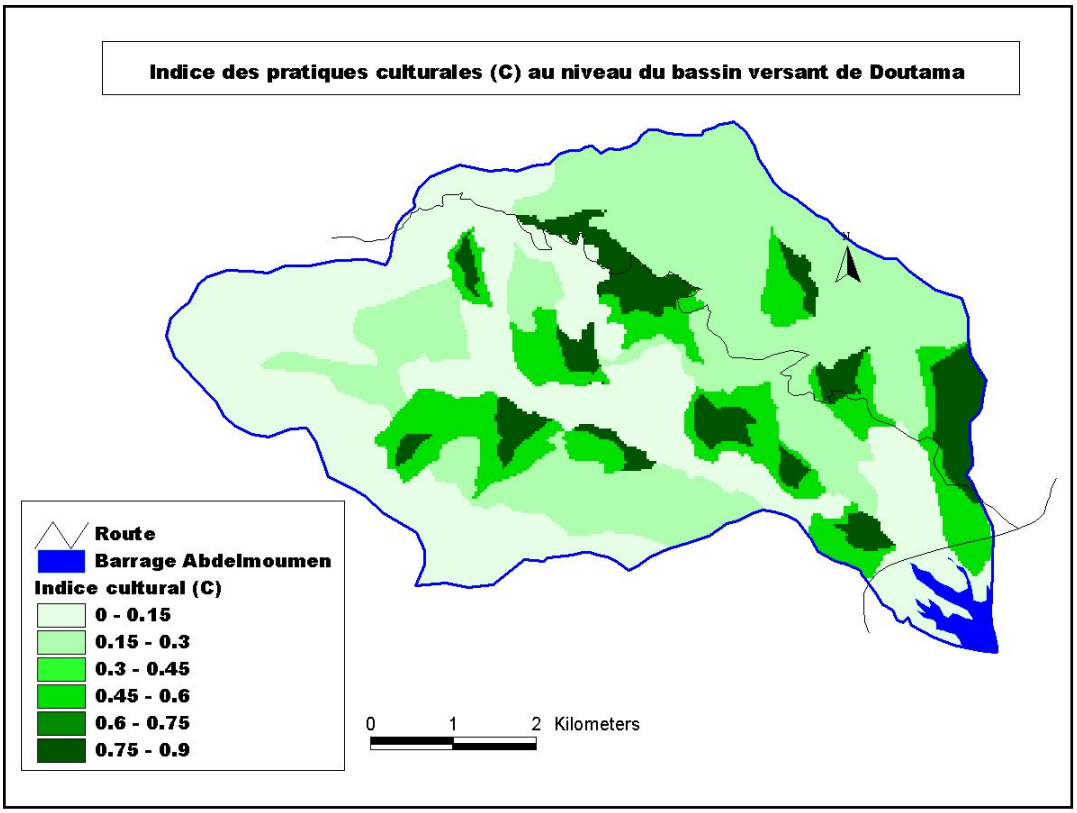

Figure 8. Carte de l'indice des pratiques culturales (C)

E. Indice des pratiques de conservation (P)

Cet indice mesure l'effet des pratiques de conservation des eaux et du sol sur le taux d'érosion. En l'absence de pratiques de conservation dans les zones agricoles, nous avons attribué la valeur 1 aux zones de culture en sec. Pour les zones occupées par la

forêt et les terrasses irriguées, nous avons dégagé une estimation du facteur P de 0.5 (Tableau 7).

Tableau 7. Valeurs estimées de l'indice P

Classes d'utilisation du sol	**Indice P**
Forêt de thuya moyennement dense	0.5
Forêt de thuya claire	0.5
Forêt d'arganier moyennement dense	0.5
Forêt d'arganier claire	0.5
Culture en sec	1.0
Culture en irriguées	0.5

Comme dans le cas de l'indice C, l'introduction de pratiques de conservation du sol agit directement sur l'indice P. Ainsi, le labour perpendiculaire à la pente et la construction de cuvettes ou murettes en pierre sèches au niveau des sols agricoles constituent des pratiques de conservation du sol qui ont un effet direct sur la réduction de l'érosion et par conséquent sur la valeur de l'indice P.

Une carte de l'indice P a été ensuite développée dans le SIG en attribuant la valeur de P à chaque utilisation du sol (Figure 9).

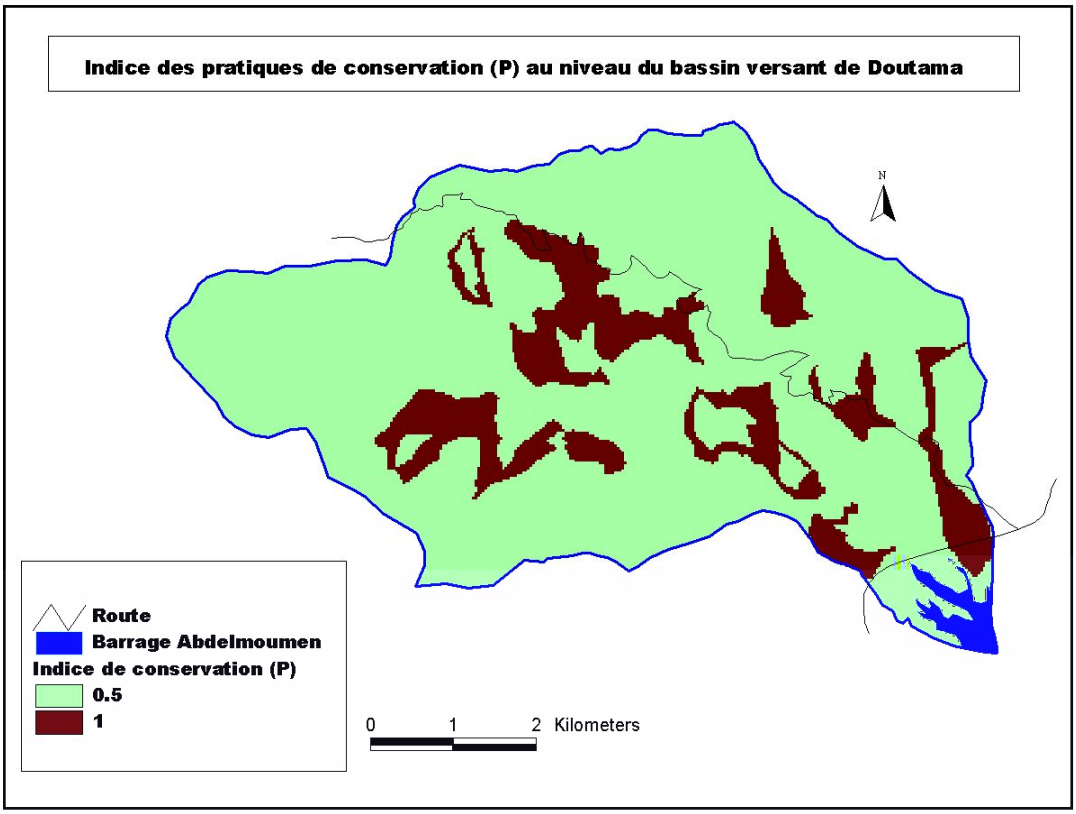

Figure 9. Carte de l'indice des pratiques culturales (P)

F. Calcul du taux d'érosion avant la mise en œuvre des activités du projet

Un programme (script) d'Avenue (Annexe B) a été développé pour faciliter l'évaluation de l´équation (2) en intégrant les grilles d'indices développés dans les paragraphes précédents, à savoir l'indice de pluie (R), l'indice d'érodibilité du sol (K), l'indice de topographie (LS), l'indice des pratiques culturales (C), et l'indice des pratiques de conservation (P). Le résultat du calcul est présenté dans la figure 10.

Ainsi, le taux d'érosion moyen avant l'installation des activités de conservation du sol prévues dans le cadre du projet WPM est estimé à 10.89 T/ha/an. Selon la carte de la répartition du taux d'érosion, on constate que les taux d'érosion les plus élevés sont localisés dans la partie nord du bassin versant avec des pentes forte et à proximité des villages où l'activité agricole est très intense. La répartition de la superficie par classe du taux d'érosion est présentée dans le tableau 8.

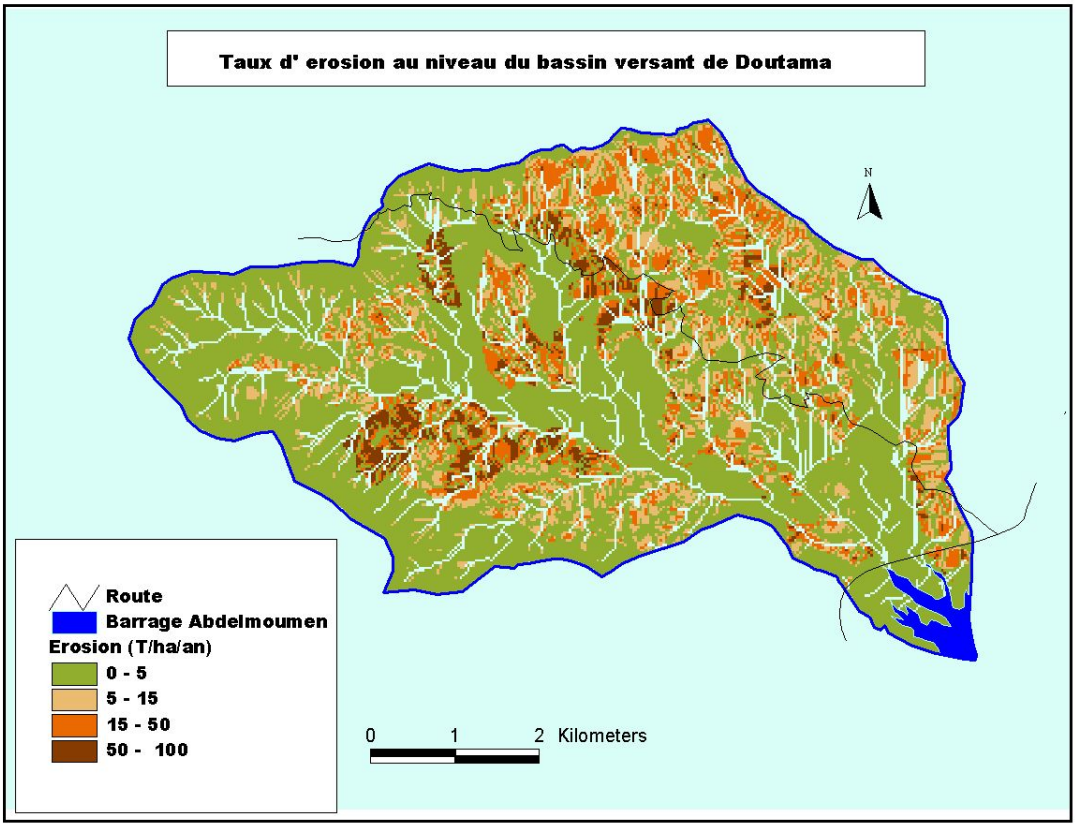

Figure 10. Carte du taux d'érosion au niveau du bassin versant de Doutama

Tableau 8. Répartition de la superficie du bassin versant par classes du taux d'érosion

Classes d'érosion (T/ha/an)	% de la superficie totale (3700ha)
0-1	64 %
1- 5	17 %
5-25	12 %
25-100	7 %

ANNEXE A

SCRIPT AVENUE POUR LE CALCUL DE L'INDICE TOPOGRAPHIQUE (LS)

```
'Programme de calcul de l'indice LS modifie
'
View1 = "Erosion Application"
Alt_grid = "Altitude_grid"
theView = av.GetProject.FindDoc(View1)
theGTheme = theView.FindTheme(Alt_grid)
theGrid = theGTheme.GetGrid
Flowacc = theGrid.FlowDirection(False).FlowAccumulation(Nil)
'
'Add flow accumulation grid to the view
'Flow_Gtheme = Gtheme.Make(Flowacc)
'theView.AddTheme(Flow_Gtheme)
'
'Eliminate important streams with flowacc > 30
 Flowacc_ns = (Flowacc > 30.Asgrid).setNull(Flowacc)
'
'Add flow accum w/o stream to view
'Flowacc_Gtheme = Gtheme.Make(Flowacc_ns)
'theView.AddTheme(Flowacc_Gtheme)
'------------------------
Slope_grid = "Slope_grid"
theGtheme2 = theView.FindTheme(Slope_grid)
theGrid2 = theGtheme2.GetGrid
'
 LS = 1.6.Asgrid * ((Flowacc_ns*(30.Asgrid/22.1.Asgrid)).Pow(0.6)) *
 ((((theGrid2 * 0.01745.Asgrid).SIN ) /0.09.Asgrid).Pow(1.3))
'
'--------
 LS_mod= (LS > 100.Asgrid).con(100.Asgrid, LS)
'Add Add LS_mod to view
 LS_Gtheme = Gtheme.Make(LS_mod)
 theView.AddTheme(LS_Gtheme)
'-------------
```

ANNEXE B

SCRIPT AVENUE POUR LE CALCUL DU TAUX D'EROSION (E)

```
'Programme de l'application de l'equation E = RxKxLSxCxP
'pour le calcul de l'erosion en tonnes/ha/an
'
View1 = "Erosion application"
theView = av.GetProject.FindDoc(View1)
'
'
R_grid = "R_grid"
theGtheme_R= theView.FindTheme(R_grid)
theGrid_R = theGtheme_R.GetGrid
'
K_grid = "K_grid"
theGtheme_K= theView.FindTheme(K_grid)
theGrid_K = theGtheme_K.GetGrid
'
LS_grid = "LS_grid"
theGtheme_LS= theView.FindTheme(LS_grid)
theGrid_LS = theGtheme_LS.GetGrid

'
C_grid = "C_grid"
theGtheme_C= theView.FindTheme(C_grid)
theGrid_C = theGtheme_C.GetGrid
'
'
P_grid = "P_grid"
theGtheme_P= theView.FindTheme(P_grid)
theGrid_P = theGtheme_P.GetGrid
'
Erosion =theGrid_R * theGrid_K* theGrid_LS * theGrid_C* theGrid_P
'
'Add Add Erosion to view
 Erosion_Gtheme = Gtheme.Make(Erosion)
 theView.AddTheme(Erosion_Gtheme)
```